

УДК 621.9.048

А.В. МИЦЫК, канд. техн. наук,

В.А. ФЕДОРОВИЧ, д-р техн. наук, Харьков, Украина

АНАЛИТИКА, КОММЕНТАРИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ВИБРООБРАБОТКИ, СОЗДАНЫХ КОМБИНИРОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Наведено аналітику наукових основ механізму оздоблювально-зачищувальної обробки. Встановлено головний принцип проектування нових технологій, що складається в комбінуванні різних схем енергетичного впливу на робоче середовище і оброблювані деталі. Наведено класифікацію технологій оздоблювально-зачищувальної віброобробки. Дано схеми і енергетичні режими реалізації технологій, а також коментарі до конструкцій агрегативаних вібростанків, вказані області та особливості їх промислового застосування.

Ключові слова: оздоблювально-зачищувальна обробка, класифікація технологій

Приведена аналитика научных основ механизма отделочно-зачистной обработки. Установлен главный принцип проектирования новых технологий, состоящий в комбинировании различных схем энергетического воздействия на рабочую среду и обрабатываемые детали. Приведена классификация технологий отделочно-зачистной виброобработки. Даны схемы и энергетические режимы реализации технологий, а также комментарии к конструкциям агрегативанных вибростанков, указаны области и особенности их промышленного применения.

Ключевые слова: отделочно-зачистная обработка, классификация технологий

Scientific bases of finishing treatment mechanism analyzed. New technologies design main principle, which consists in combination of various energy impact schemes on working environment and workpieces is set. Vibration finishing treatment technology classification is set. Scheme and energy modes by technologies implementation and comments to aggregated vibration machine-tool constructions are given, areas and industrial implementation characteristics are set.

Keywords: finishing treatment, technology classification

Общие положения

Анализируя научные основы механизма отделочно-зачистной виброобработки становится очевидным, что суть рассматриваемого процесса заключается в том, что помещенные в колеблющийся резервуар вибростанка гранулы свободной абразивной среды и обрабатываемые детали совершают циркуляционное движение с различными скоростями и траекториями [1].

Как результат, при относительном перемещении и взаимном давлении гранул и деталей происходят динамические процессы микрорезания и упругопластического деформирования, вызывающие удаление дефектного слоя металла с обрабатываемой поверхности и одновременное уменьшение высоты ее микронеровностей [2].

Кинематическим началом циркуляционного движения содержимого резервуара вибростанка является силовое взаимодействие его рабочих поверхностей, то есть стенок и днища, с абразивной средой различной характеристики и состава, и обрабатываемыми деталями. Материал деталей различается по своему химическому составу и физико-технологическим свойствам. Характеристика среды по физическим, химическим и механическим свойствам также может изменяться в широком диапазоне. Режимы движения резервуара и его содержимого при обработке деталей варьируются, как и другие параметры технологии [3].

Главным принципом проектирования новых технологий отделочно-зачистной виброобработки, которые активно исследуются и внедряются в современном промышленном производстве для изготовления широкой номенклатуры деталей и изделий, является принцип комбинирования различных схем энергетического воздействия на рабочую среду и обрабатываемые детали (рис. 1), загружаемые в резервуар вибростанка для проведения обработки с получением требуемого технологического результата [2, 4].

Комбинируя различные сочетания схем энергетического воздействия, а также конструкторских и технологических параметров, возможно значительно расширить область эффективного использования отделочно-зачистной виброобработки на основе создания новых технологий, а также прогрессивного оборудования для их реализации.

Хотелось бы отметить, что некоторые первые шаги для развития мировой практики виброобработки в этом направлении уже сделаны, в том числе авторами настоящей статьи и данные исследования продолжают расширяться, что должно принести отечественному машиностроению несомненную научную и экономическую выгоду на рынке новых инженерных открытий, а также промышленных технологий и металлообрабатывающих станков.

Далее, в последовательности предложенной классификации (см. рис. 1) проведем аналитический анализ и сделаем некоторые комментарии к технологиям отделочно-зачистной виброобработки с различными схемами энергетического воздействия.

Механохимическая технология отделочно-зачистной виброобработки

Наиболее характерным для механохимического воздействия является использование в технологических процессах виброобработки химически-активных растворов различного количественного и качественного составов.

Интенсификации технологий виброобработки происходит при химическом воздействии активных компонентов раствора на поверхность обрабатываемой детали и адсорбционного воздействия поверхностно-

активных веществ в местах наибольшего контакта гранул и деталей, то есть на их кромках и выступах поверхности.



Рисунок 1 – Классификация технологий отделочно-зачистной виброобработки с различными схемами энергетического воздействия

Химическое воздействие применяемого в технологии виброобработки химически-активного раствора основано на гетерогенном процессе электрохимического и химического растворения материала поверхностного слоя в электролите.

Химическое растворение происходит в результате реакций, возникающих между материалом детали и действующим компонентом химически-активного раствора. Электрохимическое растворение происходит вследствие наличия в системе «деталь-электролит» различных микродефектов, так как металл детали не является химически чистым и однородным.

Химическое воздействие раствора наиболее интенсивно проявляется на свежее деформированных участках поверхности, которые постоянно имеют место вследствие из-за ударного гранул воздействия рабочей среды. Такие участки свободны от жировых пленок и загрязнений, и имеют неравновесную структуру поверхностного слоя с повышенной энергией и скоплением дислокаций. Химически-активный раствор проникает вглубь металла детали по микротрещинам, проводя его растравливание и тем самым облегчая механический абразивный съем гранулам рабочей среды.

В процессе электрохимического растворения происходит взаимодействие макрокомпонентов поверхностных слоев детали, изначально окисных пленок, затем пленок соединений металла и поверхностно-активного

вещества с химически-активным раствором. В результате происходит растворение основного металла детали и частичное стравливание его соединений. Этот процесс протекает избирательно, главным образом на выступах и кромках деталей, создавая технологические предпосылки для удаления заусенцев, скругление острых кромок, а также сглаживание микронеровностей в процессе отделочно-зачистной виброобработки.

Механотермическая технология отделочно-зачистной виброобработки

Характеризуется наложением на процесс классической виброобработки регулируемого температурного поля, что позволяет комплексно воздействовать на обрабатываемые поверхности сочетанием низкочастотных колебаний, наклепа и нагрева до $150...500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2). При таких условиях осуществляются операции упрочняющей, стабилизирующей, а также некоторых видов термической обработки и покрытий [5, 6].

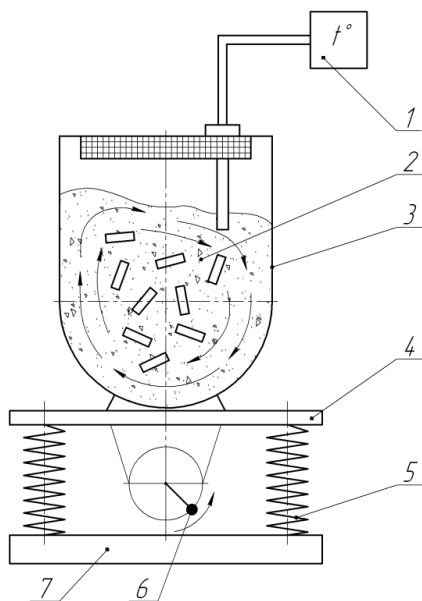


Рисунок 2 – Схема процесса механотермической виброобработки:

1 – нагревательное устройство; 2 – рабочая среда; 3 – резервуар;
4 – виброплатформа; 5 – упругая подвеска; 6 – вибровозбудитель; 7 – основание

Конструкции вибростанков для механотермической виброобработки имеют различные варианты разогрева загрузки 2 резервуара 1, состоящей из рабочей среды и обрабатываемых деталей, а именно, при помощи: электронагревателей 5, вынесенных из зоны вибрации (рис. 3, а) или вмонтированными в стенки резервуара 1 (рис. 3, б); электромагнитного поля, создаваемого многовитковым индуктором 6 (рис. 3, в) или одновитковым индуктором 7 (рис. 3, г); пропусканием электрического тока (рис. 3, д) или газообразного теплоносителя (рис. 3, ж) сквозь загрузку 2 резервуара 1; циркуляцией жидкого или газообразного теплоносителя в резервуаре 1 (рис. 3, е) или над загрузкой 2 резервуара 1 (рис. 3, з). В качестве рабочей среды используются стальные или твердосплавные шары, а также абразивные гранулы [7].

Совмещение механического и температурного воздействия способствует интенсификации процессов, связанных с образованием требуемых физико-механических свойств поверхностного слоя детали и повышением качества, наносимых в процессе обработки механических покрытий.

Процесс механотермической виброобработки реализуется на специальных вибростанках, имеющих резервуар с нагревательными элементами и теплоизоляцией.

Эксцентриксовая технология отделочно-зачистной виброобработки

Имеет сходство с базовой схемой виброобработки. Однако, кинематические особенности, состоящие в относительно высоких значениях амплитуды, а также широкий диапазон траектории колебания от окружности до вытянутого эллипса расширяют технологические возможности этого процесса обработки [2, 6, 8].

Сущность процесса эксцентриксовой виброобработки (рис. 4) состоит в том, что от привода 7 через вал 6, имеющий эксцентриситет и вращающийся вокруг своей оси, сообщается движение платформе 5, которая шарнирно закреплена в точке В на качающейся подвеске 1 в виде серьги. Противоположный конец платформы 5, на котором смонтирован резервуар 2, описывает сложную траекторию, зависящую от взаимного расположения осей, проходящих через точки О, В, Д кинематической связи. Траектория перемещения резервуара изменяется от приближенных концентрических окружностей до эллипсов с различными соотношениями осей. Частота колебаний резервуара имеет широкий диапазон регулирования и составляет 300...1800 кол/мин [6].

При реализации схемы эксцентриксовой виброобработки представляется возможность управления перемещением резервуар 2, в результате чего можно зафиксировать траекторию движения любой его точки, а следовательно рассчитать скорости и ускорение движения.

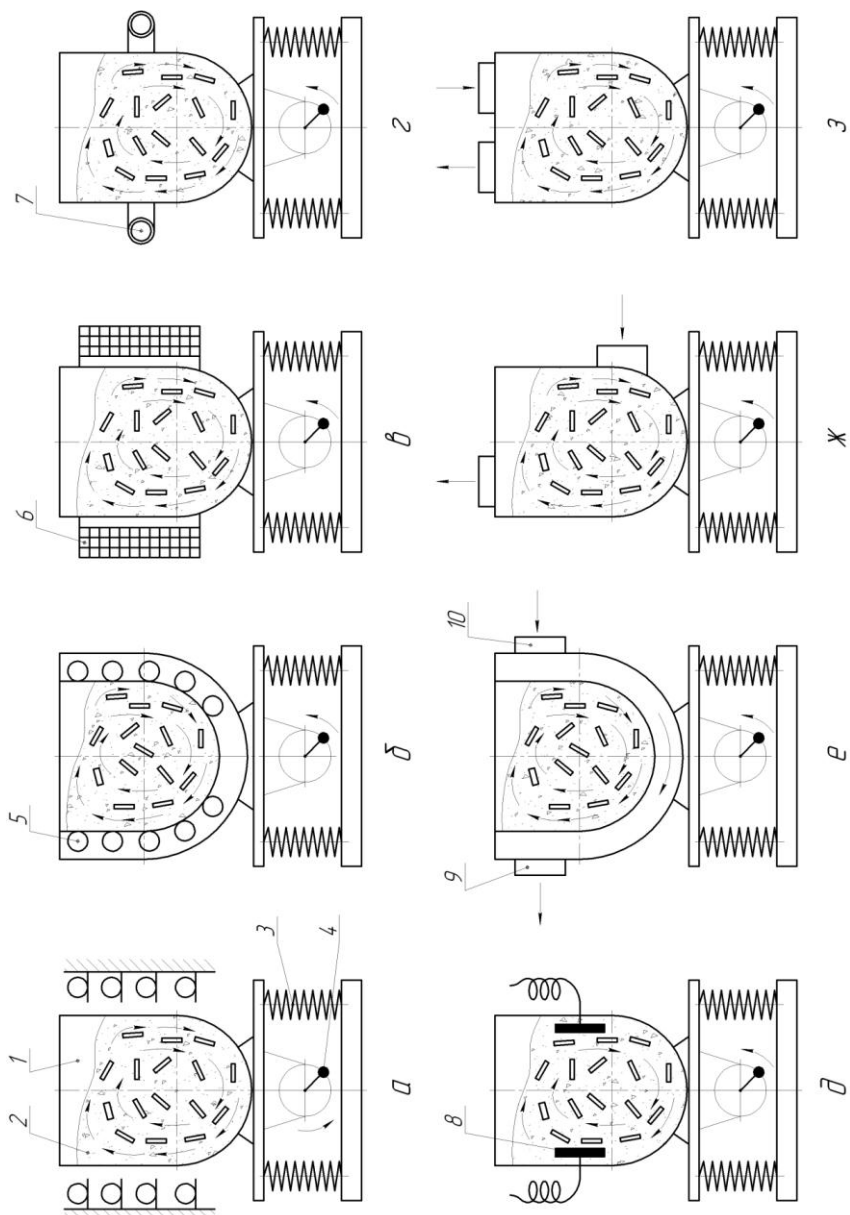


Рисунок 3 – Схема резервуаров вибростанков для механотермической виброобработки

Амплитуду колебаний резервуара 2 изменяют от 0 до 40 мм различными путями, а именно варьируя величиной эксцентриситета, соотношением величины плеч платформы AB и BC , а также расположением неподвижных осей, проходящих через точки B и D качающейся подвески 1.

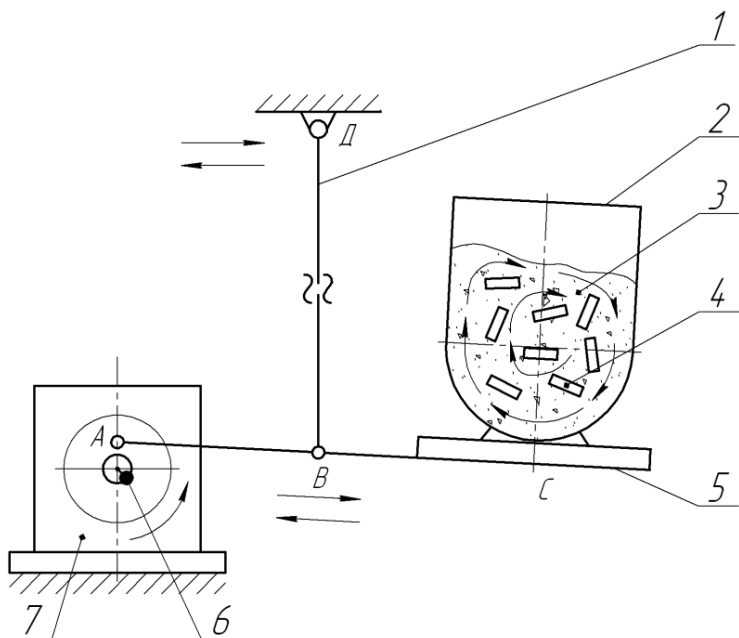


Рисунок 4 – Схема процесса эксцентриковой виброобработки:
1 – подвеска; 2 – резервуар; 3 – рабочая среда; 4 – обрабатываемые детали;
5 – платформа; 6 – эксцентрик; 7 – привод

Изменение технологических параметров процесса эксцентриковой виброобработки, таких как амплитуда, частота и траектория движения резервуара, оказывает существенное влияние на кинематику и динамику рабочей среды, загруженный в резервуар. Возможность управления траекторией движения резервуара позволяет выбирать его необходимую форму применительно к конкретной операции виброобработки [9].

Центробежная технология отделочно-зачистной виброобработки

В основу процесса положено одновременное воздействие направленных колебаний и центробежных сил, которое приводит к росту энергетического уровня рабочей среды и интенсивности виброобработки в целом [10, 11].

Сущность процесса центробежной виброобработки (рис. 5) состоит в том, что резервуар 1, снабженный механизмом вертикального перемещения 2, шарнирно установлен в поворотном кольце 3 и приводится в сложное колебательное движение с помощью привода. Механизм привода через кривошип 5 задает точке C водила 4 вращательное или плоскопараллельное движение, которое при помощи корданной подвески преобразуется в двухкомпонентные угловые колебания резервуара. Конструктивные особенности корданной подвески резервуара обеспечивают надежную работу вибростанка с амплитудой угловых колебаний β и α_1 в пределах 15 градусов [12].

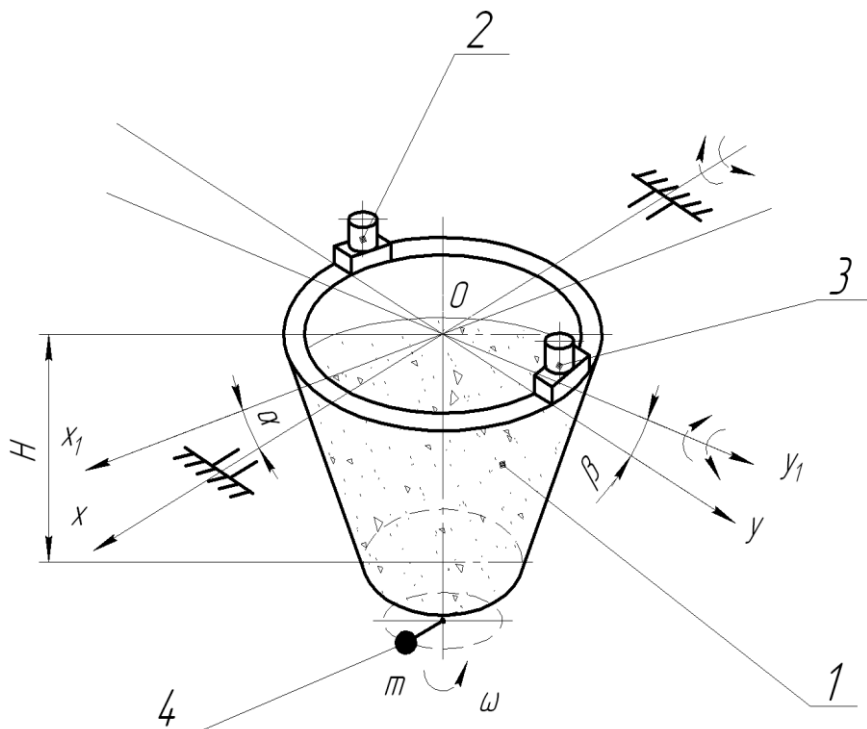


Рисунок 5 – Схема центробежной виброобработки:
1 – резервуар; 2 – механизм вертикального перемещения;
3 – поворотное кольцо; 4 – вибровозбудитель

К основным параметрам, характеризующим процесс центробежной виброобработки относятся скорость и ускорение движения гранул рабочей среды, а также сила их микроударов о поверхности обрабатываемых деталей.

Шпиндельная технология отделочно-зачистной виброобработки

Представляет собой комбинирование традиционной схемы виброобработки и схемы установки одной или пакета обрабатываемых деталей на одном или нескольких шпинделях, сообщающих деталям главное движение (рис. 6). В зависимости от формы и сложности поверхности, обрабатываемых деталей, а также от требуемого технологического результата виброобработки главное движение может быть вращательным, возвратно-поступательным, осциллирующим, с угловыми колебаниями, а также комбинированным из всех перечисленных видов движения [13].

Процесс обработки осуществляется в колеблющейся рабочей среде находящейся в состоянии текучести, путем погружения в нее обрабатываемых деталей простой и сложной формы, которым сообщается дополнительное движение со скоростью 0,5...15 м/с.

В качестве рабочей среды используют шлифпорошки, мелкодисперсные абразивные и металлические гранулы в виде стеклянных и стальных шаров, а также чугуной дроби.

Технологический результат шпиндельной виброобработки достигается при сочетании процессов микрорезания и поверхностного пластического деформирования. Независимые и комплексные движения деталей и рабочей среды обеспечивают обработку всех поверхностей деталей на которой образуется специфический характер микрорельефа.

Формирование параметров качества поверхности детали происходит при влиянии таких факторов, как зернистость и увлажненность абразива, амплитуда и частота колебаний резервуара, окружная скорость вращения детали, продолжительность обработки, исходная шероховатость и физико-механические свойства материала обрабатываемой детали.

Шпиндельная виброобработка обеспечивает получение поверхностей до $R_a = 0,16$ мкм. Амплитуда колебаний резервуара и в меньшей степени частота оказывают влияние на изменение шероховатости поверхности. Рост частоты и амплитуды колебаний резервуара сопровождается соответствующим увеличением весового съема металла, который также зависит от увлажненности гранул мелкодисперсной рабочей среды и достигает максимума при влажности гранул 10...12 %.

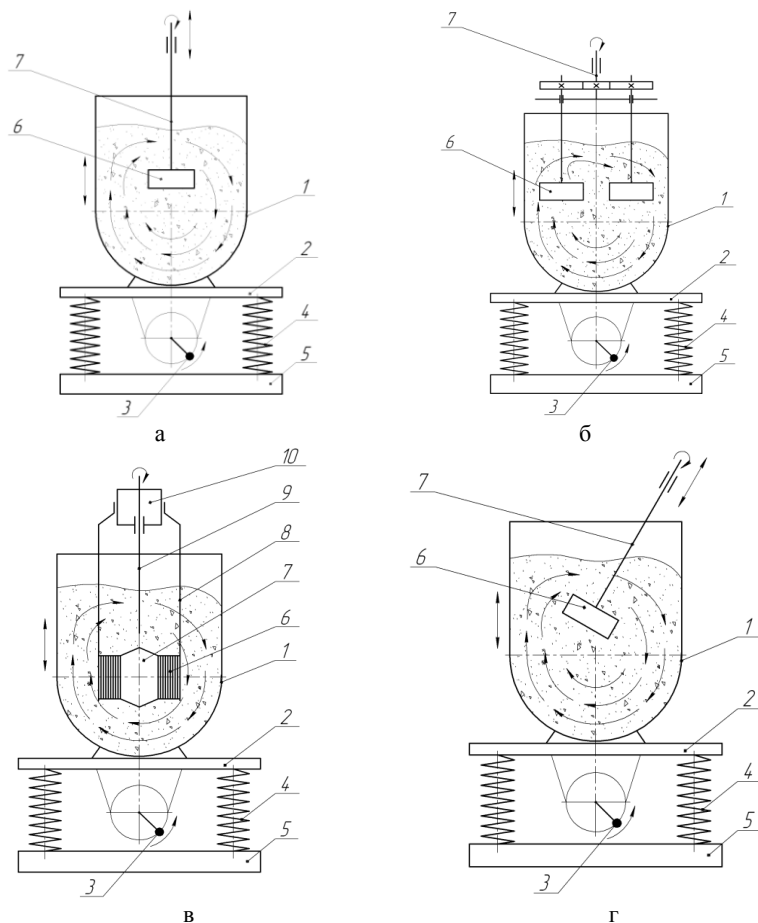


Рисунок 6 – Схемы установки обрабатываемых деталей при шпиндельной виброобработке: 1 – резервуар; 2 – виброплатформа; 3 – вибровозбудитель; 4 – упругая подвеска; 5 – основание; 6 – обрабатываемая деталь; 7 – шпиндель; 8 – крепежное приспособление; 9 – инструмент; 10 – пиноль

Электрохимическая технология отделочно-зачистной виброобработки

Основана на эффекте электрохимического растворения поверхностного слоя обрабатываемой детали и механическом разрушении ее материала с последующим удалением отходов [6].

Принципиальная схема вибростанка для электрохимической обработки (рис. 7) состоит из резервуара 4, смонтированного на упругой подвеске 2 и установленного на основании 1. Под действием вибровозбудителя 3, резервуар 4 совершает колебательные движения с частотой 15...50 Гц и амплитудой 0,5...5,0 мм. Внутри резервуара 4 установлены электроды 5 и 6, подключенные к источнику постоянного тока 7. Корпус резервуара защищен облицовкой 8. Подача электролита осуществляется из бака 10 насосом 9 [7].

Сущность процесса электрохимической виброобработки состоит в том, что обрабатываемые детали и рабочую среду помещают в пространство между электродами. Под действием электрического тока с плотностью 0,1...0,5 А/см² и напряжением 30 В, а также электролита на поверхности детали образуется пленка с высоким сопротивлением, прочность которой меньше прочности материала детали. В результате вибрационного воздействия гранулы среды разрушают оксидную пленку и удаляют с поверхности детали дефектный слой.

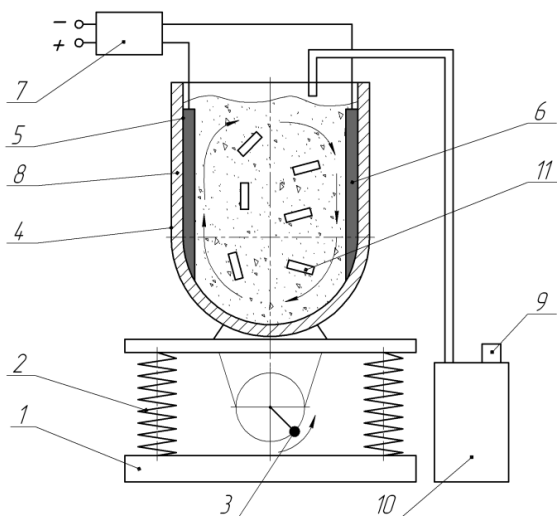


Рисунок 7 – Схема электрохимической виброобработки: 1 – основание; 2 – упругая подвеска; 3 – вибровозбудитель; 4 – резервуар; 5, 6 – электроды; 7 – источник тока; 8 – облицовка; 9 – насос; 10 – бак; 11 – обрабатываемые детали

В качестве электролитов используются растворы на основе нейтральных солей, таких как хлористый натрий, азотнокислый или азотистокислый натрий и др. Интенсивность съема металла при электрохимической обработке в 6...10 раз выше в сравнении с традиционной виброобработкой. Процесс

наиболее эффективен на отделочно-зачистных операциях при обработке деталей из медных сплавов, а также жаропрочных и аустенитных сталей.

Электрофизическая технология отделочно-зачистной виброобработки

Характеризуется включением в электрическую цепь обрабатываемой детали и колеблющейся рабочей среды. Вследствие периодического отрыва колеблющихся гранул от поверхности обрабатываемой детали, в образующихся между ними зазорах возникают электрические разряды, которые в зависимости от параметров тока сопровождаются оплавлением контактных зон. При этом достигаются изменения физико-механических свойств материала поверхностного слоя детали, а также перенос частиц материала гранул на поверхность обрабатываемых деталей.

Схема процесса электрофизической виброобработки (рис. 8) заключается в том, что обрабатываемая деталь 1 и гранулы рабочей среды 2, выполненные из высокопрочного чугуна помещены в резервуар 3, оснащенный дебалансным вибровозбудителем 4. Резервуар 3 с помощью упругой подвески 5 установлен на основании 6. Трансформатор 7 своими выводами через электрический прерыватель 8 соединен с корпусом резервуара 3 и держателем 9 детали 1 [2].

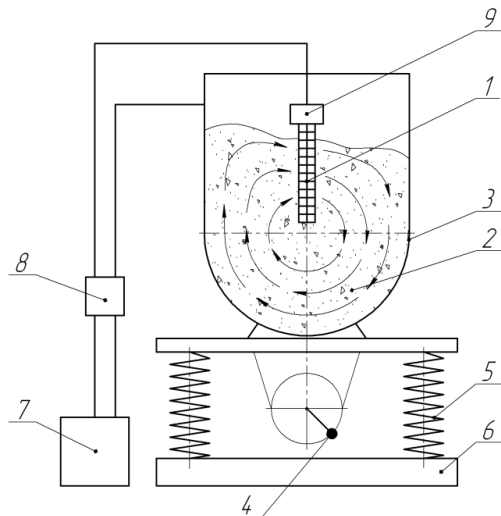


Рисунок 8 – Схема электрофизической виброобработки: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – рабочая среда; 3 – резервуар; 4 – вибровозбудитель; 5 – упругая подвеска; 6 – основание; 7 – трансформатор; 8 – прерыватель; 9 – держатель

Предварительно разогретую деталь 1 устанавливают в держатель 9, который через токоизолирующие прокладки крепится на корпусе резервуара 3. При включении вибровозбудителя 4, рабочая среда 2 переходит в псевдооживленное состояние и ее гранулы наносят периодические удары по поверхности детали.

При наложении электрического потенциала в момент соударения между деталью 1 и каждой из отдельных гранул рабочей среды 2 возникает высокотемпературный дуговой разряд, который способствует переносу микрочастиц материала гранул на поверхность детали. При снятии электрического потенциала происходит отрыв от поверхности детали 1 отдельных налипших гранул рабочей среды 2 и обрабатываемая поверхность очищается от шлаковых включений.

Магнитноабразивная технология отделочно-зачистной виброобработки

Применение целесообразно при чистовой отделочно-зачистной обработке деталей сложных форм с повышенными требованиями к качеству и точности поверхности [2]. Схема процесса (рис. 9) состоит в том, что рабочая среда 3 циркулирует в резервуаре 1 под действием колебаний, создаваемых вибровозбудителем 5, прикрепленным к виброплатформе 4, а обрабатываемые детали 2 ориентируются вдоль магнитных силовых полей. Резервуар 1 выполняется из диамагнитного материала, полюсы электромагнитов 6 обращенные к резервуару 1 получают разноименную намагниченность, а магнитные силовые линии проходят через содержимое резервуара 1 в направлении от одного полюса к другому. Детали 2, помещенные в межполюсное пространство электромагнитов 6, ограниченное резервуаром 1 занимают в нем устойчивое равновесное положение.

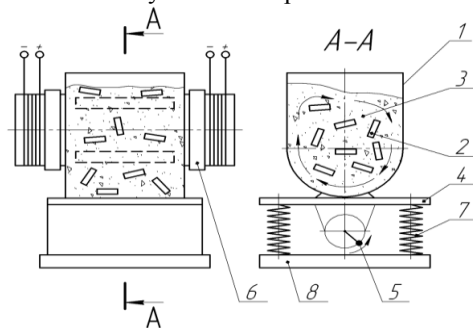


Рисунок 9 – Схема магнитно-абразивной виброобработки:

- 1 – резервуар; 2 – обрабатываемые детали; 3 – рабочая среда; 4 – виброплатформа;
5 – вибровозбудитель; 6 – полюсы электромагнитов; 7 – упругая подвеска;
8 – основание

Магнитно-абразивная виброобработка в диэлектрической среде представляет собой совокупность импульсных процессов микрорезания и пластического деформирования поверхностного слоя детали, расположением и движением которых можно управлять с помощью магнитного поля.

Выводы

Непрерывное совершенствование технологий отделочно-зачистной обработки, научный и производственный поиск путей их интенсификации и расширение технологических возможностей требует изучения, создания и промышленного внедрения новых разновидностей высокоэффективных методов формирования поверхностей деталей. Вибрационные технологии и оборудование решая эти задачи с точки зрения получения требуемого результата по своему физическому содержанию существенно отличаются от традиционных методов обработки. Причем такой нетрадиционный подход позволяет создавать новые, мультитенергетические технологии и процессы обработки, характеризующиеся высокой эффективностью, оригинальными качественными показателями, а также способствующие проектированию экологически чистых ресурсосберегающих технологий.

Список использованных источников: 1. *Карташов И.Н.* Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / И.Н. Карташов, М.Е. Шаинский, В.А. Власов. – Киев: Вища школа, 1975. – 188 с. 2. *Бабичев А.П.* Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев – Ростов-на-Дону, 2008. – 694 с. 3. *Кулаков Ю.М.* Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю.М. Кулаков, В.А. Хрульков. – М: Машиностроение, 1979. – 216 с. 4. *Мицык А.В.* Пути интенсификации вибрационной отделочно-зачистной обработки комбинированием схем энергетических воздействий на рабочую среду и детали / А.В. Мицык, В.А. Федорович // *Авіаційно-космічна техніка і технології*. – 2011. – № 6 (83). – С. 26 – 34. 5. *Берещенко А.А.* Виброхимическая обработка углеродистых и легированных сталей: дис. ... кандидата хим. наук: 05.17.03 / Алла Александровна Берещенко. – Киев, 1980. – 132 с. 6. *Григорьев В.А.* Интенсификация процессов виброабразивной обработки наложением электрохимического воздействия: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Григорьев Виталий Анатольевич. – Ростов-на-Дону, 1988. – 17 с. 7. *Бабичев А.П.* Наладка и эксплуатация станков для вибрационной обработки / А.П. Бабичев, Т.Н. Рысева, В.А. Самодуров, М.А. Тамаркин. – М.: Машиностроение, 1988. – 64 с. 8. *Бабичев А.П.* Совершенствование конструкции рабочих камер вибрационных станков / А.П. Бабичев, Т.Н. Рысева, Т.В. Давыдова, Саяд Бакир Аля // *Вибрации в технике и технологиях*. – 1995. – №1 (2). – С. 8 – 11. 9. *Балакин И.Я.* Эффективность различных способов очистки отливок / И.Я. Балакин, Б.Б. Гуляев, Ю.Ф. Боровский, С.И. Фомченко // *Вестник машиностроения*. – 1967. – № 3. 10. *Афтаназив И.С.* Разработка и внедрение технологического процесса поверхностного упрочнения деталей вращения вибрационно-центробежным методом: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Иван Семенович Афтаназив. – Москва, 1984. – 19 с. 11. *Повидайло В.А.* К определению эффективности параметров процесса вибрационно-центробежной упрочняющей обработки зубчатых колес / В.А. Повидайло, И.С. Афтаназив, Ю.М. Семкив // *Вибрации в технике и технологиях*. – 1995. – №1 (2). – С. 35 – 38. 12. *Бабичев А.П.* Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей (очистка, мойка, удаление облоя и заусенцев, обработка кромок) / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, Л.К. Гиллеспи. Р-н-Д: ДГТУ. – 2010. – 289 с. 13. *Зверовщиков А.В.* Совершенствование шпиндельной технологии обработки деталей при уплотнении шлифовального материала внешним давлением: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Анатолий Владимирович Зверовщиков. – Пенза, 2004. – 270 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Kartashov I.N.* Obrabotka detalej svobodnymi abrazivami v vibrirujushhix rezervuarah / *I.N. Kartashov, M.E. Shainskij, V.A. Vlasov.* – Kiev: Vishha shkola, 1975. – 188 s. 2. *Babichev A.P.* Osnovy vibracionnoj tehnologii / *A.P. Babichev, I.A. Babichev* – Rostov-na-Donu, 2008. – 694 s. 3. *Kulakov Ju.M.* Otdelochno-zachistnaja obrabotka detalej / *Ju.M. Kulakov, V.A. Hrul'kov.* – M: Mashinostroenie, 1979. – 216 s. 4. *Micyk A.V.* Puti intensifikacii vibracionnoj otdelochno-zachistnoj obrabotki kombinirovaniem shem jenergeticheskix vozdejsstvij na rabochuju sredu i detali / *A.V. Micyk, V.A. Fedorovich* // *Aviacionno-kosmichna tehnika i tehnologija.* – 2011. – № 6 (83). – S. 26 – 34. 5. *Bereshhenko A.A.* Vibrohimicheskaja obrabotka uglerodistyh i legirovannyh stalej: dis. ... kandidata him. nauk: 05.17.03 / *Alla Aleksandrovna Bereshhenko.* – Kiev, 1980. – 132 s. 6. *Grigor'ev V.A.* Intensifikacija processov vibroabrazivnoj obrabotki nalozheniem jelektrohimicheskogo vozdejsztvija: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / *Grigor'ev Vitalij Anatol'evich.* – Rostov-na-Donu, 1988. – 17 s. 7. *Babichev A.P.* Naladka i jekspluatacija stankov dlja vibracionnoj obrabotki / *A.P. Babichev, T.N. Ryseva, V.A. Samodurov, M.A. Tamarkin.* – M.: Mashinostroenie, 1988. – 64 s. 8. *Babichev A.P.* Sovershenstvovanie konstrukcii rabochih kamer vibracionnyh stankov / *A.P. Babichev, T.N. Ryseva, T.V. Davydova, Saed Bakir Alja* // *Vibracii v tehnike i tehnologijah.* – 1995. – №1 (2). – S. 8 – 11. 9. *Balakin I.Ja.* Jefferktivnost' razlichnyh sposobov ochistki otlivok / *I.Ja. Balakin, B.B. Guljaev, Ju.F. Borovskij, S.I. Fomchenko* // *Vestnik mashinostroenija.* – 1967. – № 3. 10. *Aftanaziv I.S.* Razrabotka i vnedrenie tehnologicheskogo processa poverhnostnogo uprochnenija detalej vrashhenija vibracionno-centrobezhnym metodom: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / *Ivan Semenovich Aftanaziv.* – Moskva, 1984. – 19 s. 11. *Povidajlo V.A.* K opredeleniju jefferktivnosti parametrov processa vibracionno-centrobezhnogo uprochnjajushhej obrabotki zubchatyh koles / *V.A. Povidajlo, I.S. Aftanaziv, Ju.M. Semkiv* // *Vibracii v tehnike i tehnologijah.* – 1995. – №1 (2). – S. 35 - 38. 12. *Babichev A.P.* Primenenie vibracionnyh tehnologij na operacijah otdelochno-zachistnoj obrabotki detalej (ochistka, mojka, udalenie obloja i zausencev, obrabotka kromok) / *A.P. Babichev, P.D. Motrenko, L.K. Gillespi. R-n-D: DGTU.* – 2010. – 289 s. 13. *Zverovshhikov A.V.* Sovershenstvovanie shpindel'noj tehnologii obrabotki detalej pri uplotnenii shlifoval'nogo materiala vneshnim davleniem: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.02.08 / *Anatolij Vladimirovich Zverovshhikov.* – Penza, 2004. – 270 s.